

МЕХАНИКА

УДК 510.67.554+556.5.072

DOI: 10.31429/vestnik-15-4-33-39

ОБ ОДНОЙ ОПТИМИЗАЦИОННОЙ ЗАДАЧЕ РЕГУЛИРОВАНИЯ
МОЩНОСТИ ИСТОЧНИКОВ ВЫБРОСОВ И МИНИМИЗАЦИИ
ЭКОЛОГИЧЕСКОГО УЩЕРБА

Павлова А. В., Зарецкая М. В., Лозовой В. В.

ON ONE OPTIMIZATION PROBLEM OF CONTROLLING THE POWER OF EMISSION
SOURCES AND MINIMIZING ENVIRONMENTAL DAMAGEA. V. Pavlova¹, M. V. Zaretskaya¹, V. V. Lozovoy²¹ Kuban State University, Krasnodar, 350040, Russia² Southern Scientific Centre, Russian Academy of Science, Rostov-on-Don, 344006, Russia
e-mail: pavlova@math.kubsu.ru

Abstract. The modeling of the impurities transportation makes it possible to solve the problems of blocking and neutralizing pollution, local assessment of the environmental state and forecasting of possible consequences of anthropogenic loads on the ecosystem.

To solve the optimization problems concerning regulation of the impurities emission power from sources and aimed at minimization of damage to the environment, a mathematical model has been developed, which includes submodels: hydrodynamic, transfer and optimization for controlling the power of emissions.

We study the initial boundary value problem for the balance equation of impurities emitted into the water medium by a concentrated source, taking into account the degradation of the components of a multicomponent pollutants using the turbulent diffusion equation. The paper considers both stationary and moving emission sources. When studying the sedimentation process, the possible heterogeneity of the underlying surface of the bottom is taken into account, which means the presence of mixed boundary conditions.

To study the nature of interactions in the system operating under the influence of natural and anthropogenic factors, during the assessment of environmental vulnerability to various impacts, the adjoint problems are used when the object of study is not the pollutant concentration field itself, but some of its functionals. Among these functionals are: the average annual concentration of various pollutants, the total amount of sedimented impurities.

Discrete approximations and the computational algorithm scheme are constructed on the basis of the variational principle using the splitting method. The result of the numerical implementation of the model described by the direct problem is the pollutant concentration values calculated with a given accuracy. The numerical solution of conjugated problems assumes the consistency of finite-difference approximations of the direct and conjugated problems. In this case, the structure of algorithms for solving a direct problem determines the structure of algorithms for the conjugated problem, which is solved with the reverse order of the splitting stages in the opposite direction of time.

Numerical models of transportation for single-component and multicomponent pollutant emitted by point and area sources are constructed, taking into account their degradation and interaction with the underlying surface at the bottom. They can be used to solve problems related to the assessment of the current state and prospects of the region.

Keywords: pollutant transportation, multicomponent impurity, sedimentation, heterogeneous underlying surface, conjugated problem

Павлова Алла Владимировна, д-р физ.-мат. наук, профессор кафедры математического моделирования Кубанского государственного университета; e-mail: pavlova@math.kubsu.ru.

Зарецкая Марина Валерьевна, д-р физ.-мат. наук, профессор кафедры математического моделирования Кубанского государственного университета; e-mail: zarmv@mail.ru

Лозовой Виктор Викторович, канд физ.-мат. наук, старший научный сотрудник Южного научного центра РАН; e-mail: niva_kgu@mail.ru

Работа выполнена при поддержке РФФИ и администрации Краснодарского края (гранты № 16-41-230154, 16-41-230175).

Краснодарский край играет особую роль на Юге страны. Он служит форпостом России на Черноморском побережье, единственным круглогодичным курортным центром, регионом мощных морских и сухопутных транспортных артерий Причерноморья и мира. На сегодняшний день край может составить серьезную конкуренцию зарубежным центрам в части предоставления услуг по туризму, отдыху и санаторно-курортному обслуживанию. В этой связи исключительно актуальными и приоритетными становятся вопросы мониторинга состояния экологической системы региона, оценки загрязненности и разработке мер по нейтрализации опасных загрязнений. Администрацией Краснодарского края приняты соответствующие программы по снижению выбросов загрязняющих веществ и транспортных нагрузок для ряда территорий. В то же время не решены фундаментальные проблемы, связанные с загрязнением определенных, в частности рекреационных, зон края выбросами в атмосферу, почву, водную среду, поэтому особое значение приобретает оценка загрязненности территорий, подверженных систематическому (всесезонному) загрязнению.

Современное обострение экологических проблем можно рассматривать как результат усиления антропогенного воздействия на окружающую среду. Технологический прогресс привел к увеличению числа предприятий, имеющих в своем производственном цикле высокотоксичные и радиоактивные вещества. Стремление к уменьшению себестоимости продукции порою влечет за собой нарушения требований безопасности, что ведет к печальной статистике опасных экологических катастроф. Поэтому в настоящее время экологическая безопасность может быть достигнута через решение смежных стратегических задач: сохранение не нарушенной хозяйственной деятельностью территории и восстановление на нарушенных землях естественных экосистем.

Создание эффективных диагностических и прогностических математических моделей экосистем — одна из первостепенных задач. Математическое моделирование экологических процессов дает возможность предупредить, ограничить минимальными допустимыми нагрузками, или предотвратить нарушения экосистемы, еще не начавшиеся, но ожидаемые в результате хозяйственной или иной деятельности человека. Результаты работы

таких моделей могут стать основой для объективной оценки состояния и тенденций загрязнения окружающей среды, а также планирования и разработки эффективных мер по регулированию качества атмосферы и водных бассейнов, что является особенно актуальным для решения экологических проблем рекреационной зоны Азово-Черноморского побережья.

Для предотвращения нарушения экологической устойчивости необходимо правильно оценивать и прогнозировать пространственно-временное распределения загрязнителей в окружающей среде. При описании процессов транспорта загрязняющих веществ (ЗВ) в атмосфере, воде, почве используют различные математические модели, выбор которых определяется пространственными масштабами изучаемых процессов и целями исследования. Основные принципы построения диффузионных моделей в экологии изложены в [1]. Моделирование миграции примесей позволяет решать проблемы блокирования и нейтрализации загрязнений, локальной оценки состояния природной среды и прогноза возможных последствий техногенных нагрузок на экосистему. Вопросы реализации различных моделей процесса распространения загрязнений подробно рассмотрены в работах [1–6].

1. Математические модели

Одним из разрабатываемых направлений, результаты которого могут быть применены в сфере экологической безопасности, являются задачи оптимизации и регулирования мощности источников.

Для решения оптимизационных задач по регулированию мощности выбросов примесей от источников с целью минимизации ущерба, наносимого окружающей среде в региональном масштабе, используется математическая модель, которую можно подразделить на гидродинамическую подмодель, подмодели переноса, оптимизации и управления мощностью выбросов.

Наиболее общей моделью течения в режиме сплошной среды является система уравнений гидродинамики Навье–Стокса. Для них формулируется краевая задача. В декартовой системе координат полная систем уравнений движения неоднородной вязкой несжимаемой жидкости имеет вид [7]

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0,$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} &= \\ &= F_x - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right), \\ \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} &= \\ F_y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right), \quad (1.1) \\ \frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} &= \\ &= F_z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \nu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right), \end{aligned}$$

где $\mathbf{F} = \{F_x, F_y, F_z\}$ – известные массовые силы; $\rho(x, y, z, t)$ – плотность; p – давление; $\mathbf{V} = \{u, v, w\}$ – скорости потока; $\nu = \mu/\rho$ – кинематический коэффициент вязкости; μ – динамический коэффициент вязкости.

Для определения скоростей в водной среде может использоваться более простая гидродинамическая модель ламинарного теплопереноса [7]. Это модель медленного течения при малых изменениях плотности (приближение Буссинеска), малых числах Рейнольдса Re и малых числах Маха M (для газа), когда имеет место разрешимость краевой задачи и нет потери устойчивости, $Re = Ul/\nu$; $Re = 10 \div 10^3$ (U – характерная скорость, l – характерный размер).

Граничные условия включают условие прилипания на неподвижных твердых поверхностях, а также кинематическое и динамическое условия на свободной поверхности:

$$\begin{aligned} \mathbf{V} &= 0, \\ \frac{\partial s}{\partial t} + u \frac{\partial s}{\partial x} + v \frac{\partial s}{\partial y} + w \frac{\partial s}{\partial z} &= 0, \\ p &= p_a, \end{aligned}$$

где $s(x, y, z, t) = 0$ – уравнение свободной поверхности; p_a – атмосферное давление.

В данной постановке задачи, учитывая масштабность моделируемых процессов, можно пренебречь поверхностными напряжениями, вызванными, например, действием ветра, поверхностным натяжением жидкости и кривизной поверхности.

Система уравнений (1.1) и граничные условия составляют полную систему уравнений для разрешения гидродинамической подмодели.

Далее исследуется начально-краевая задача для уравнения баланса примеси, выбираемой в водную среду сосредоточенным источником, при учете химических превращений составляющих многокомпонентной примеси, использующая уравнение турбулентной диффузии примеси [1]. В работе рассматриваются как неподвижные, так и движущиеся источники выброса.

Распространение ЗВ в потоке водных масс описывается нестационарным уравнением конвекции-диффузии с учетом возможных трансформаций в процессе переноса и гравитационного осаждения. Модель распространения многокомпонентной (N) примеси в дифференциальной формулировке в декартовой системе координат имеет вид

$$\begin{aligned} \frac{\partial \varphi_i}{\partial t} + \text{div}(\varphi_i \mathbf{a}) + (\mathbf{B}\varphi)_i &= \\ \sum_{k=1}^3 \frac{\partial}{\partial x_k} \left(\mu_k \frac{\partial \varphi_i}{\partial x_k} \right) + f_i(\mathbf{x}, t), \quad (1.2) \\ i &= \overline{1, n}. \end{aligned}$$

Здесь, $\varphi(\mathbf{x}, t) = \{\varphi_1, \dots, \varphi_n\}$ – вектор концентраций компонентов примеси; $\mathbf{x} = (x_1, x_2, x_3)$; $\mathbf{a} = (u, v, w - w_{gi})$, u, v, w – составляющие скорости потока, w_{gi} – величина скорости оседания под действием силы тяжести i -й компоненты примеси (для легких примесей можно принять $w_g = 0$); $\mathbf{B}\varphi$ – матричный оператор, описывающий процессы трансформации примесей; $\mu_k, k = \overline{1, 3}$ – коэффициенты диффузии в направлении соответствующих осей. Функции f_i описывают распределение и мощность источника i -й составляющей ЗВ, $\mathbf{f} = \{f_1, \dots, f_n\}$.

Компоненты вектора скорости среды определяются из системы уравнений гидродинамики (1.1), однако в ряде случаев при моделировании рассеяния и трансформации примеси можно ограничиться лишь уравнением (1.2), считая характеристики течений заданными, что и сделано в настоящей работе.

Уравнение (1.2) решается в ограниченной области $D_t = \{D \times [0, T]\}$, где $D = \{-X < x_1 < X, -Y < x_2 < Y, h < x_3 < H\}$. Начальное распределение загрязняющего вещества считается заданным. Граничные условия выбираются в соответствии с содержанием изучаемой проблемы. На верхней границе концентрации составляющих примеси приняты близкими к фоновым значениям, боковые поверхности непроницаемы.

Общий баланс содержания загрязняющих примесей в водной среде зависит также от обменных процессов между водой и подстилающей поверхностью дна. При изучении процесса оседания ЗВ учитывается возможная неоднородность подстилающей поверхности, в математической постановке это означает наличие смешанных граничных условий на нижней границе, задаваемых с учетом ландшафта рассматриваемой территории (в случае разнородной подстилающей поверхности дна условия учитывают способность отдельных участков отражать или аккумулировать ЗВ):

$$\left(\mu_3 \frac{\partial \varphi}{\partial x_3} - \vartheta_l \varphi \right) \Big|_{x_3=0} = q_l(x_1, x_2, t),$$

$$(x_1, x_2) \in \Sigma_l, \quad l = \overline{1, L}.$$

Здесь коэффициент ϑ_l описывает характер взаимодействия примеси с подстилающей поверхностью l -го типа и определяется ее физическими свойствами в области Σ_l . Свойства подстилающей поверхности $\bigcup_{l=1}^L \Sigma_l$ считаются заданными.

На формирование поля течений воды существенное влияние оказывает и рельеф подстилающей поверхности дна. Для построения численной модели может быть введена система координат, учитывающая рельеф поверхности, с вертикальной координатой

$$\tilde{x}_3 = \frac{x_3 - g(x_1, x_2)}{H - g(x_1, x_2)} H,$$

$g(x_1, x_2)$ — функция, описывающая рельеф [2, 3].

В общем случае компоненты примеси $(\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n)$ под влиянием соединений, содержащихся в воде, могут образовывать цепочку последовательно превращающихся химических веществ $\varphi_i = \varphi_{i0} \rightarrow \varphi_{i1} \rightarrow \varphi_{i2} \dots \rightarrow \varphi_{im_i}$. Тогда к исходной системе уравнений необходимо присоединить $\sum_i m_i$ новых [2, 3].

Если источник представляет собой движущийся с определенной скоростью объект, функция источника представляется как $\mathbf{f}(\mathbf{x}, t)$. Редуцируем функцию источника к разностному виду: $\mathbf{f}_k^j = \mathbf{f}(x_k, \tau_j)$, где $x_k = x_k(\tau_j)$. Тогда задачу можно представить как серию задач со стационарным источником, решая каждую из которых и используя

условие непрерывности вектора-функции концентрации φ , получим решение задачи для движущегося источника.

С позиций экологии действие каждого источника, даже в допустимом режиме, представляет некоторую опасность для окружающей среды. Для решения взаимосвязанных задач охраны окружающей среды принципиальное значение имеет совместное рассмотрение моделей транспорта ЗВ и системы мониторинга с целью организации взаимодействия между ними. При исследовании характера взаимодействий в системе, функционирующей под влиянием естественных и антропогенных факторов, при оценке уязвимости той или иной территории по отношению к различным воздействиям, в моделях используются сопряженные задачи [1, 3], описываемые уравнениями

$$-\frac{\partial \varphi_i^*}{\partial t} - \operatorname{div}(\varphi_i^* \mathbf{a}) - \sigma_i \varphi_i^* =$$

$$\sum_{k=1}^3 \frac{\partial}{\partial x_k} \left(\mu_k \frac{\partial \varphi_i^*}{\partial x_k} \right) + G_j, \quad (1.3)$$

где φ^* — сопряженная вектор-функция; G_j — заданная характеристика оцениваемых функционалов, $G_j > 0$, $j = \overline{1, P}$. Уравнение (1.3) соответствует случаю консервативной примеси, подверженной деградации в процессе рассеяния, матрица \mathbf{B} при этом имеет диагональный вид, ее диагональные элементы $\sigma_i \geq 0$ характеризуют интенсивность распада соответствующих компонентов загрязняющего вещества.

В этом случае объектом изучения является не само поле концентрации ЗВ, а некоторые функционалы от этого поля. К числу изучаемых функционалов относятся: среднегодовая концентрация различных ЗВ, полное количество примесей, осевших в конкретном водном бассейне и др. Определяемые при этом функции чувствительности функционалов к вариациям источников в зависимости от целей исследования можно интерпретировать как функции влияния источников или информативности результатов наблюдений.

2. Методы и результаты решения модельных задач

Для решения задачи переноса вводится сеточная область D_τ^h . Дискретные аппроксимации и схема вычислительного алгоритма построены на базе вариационного принципа

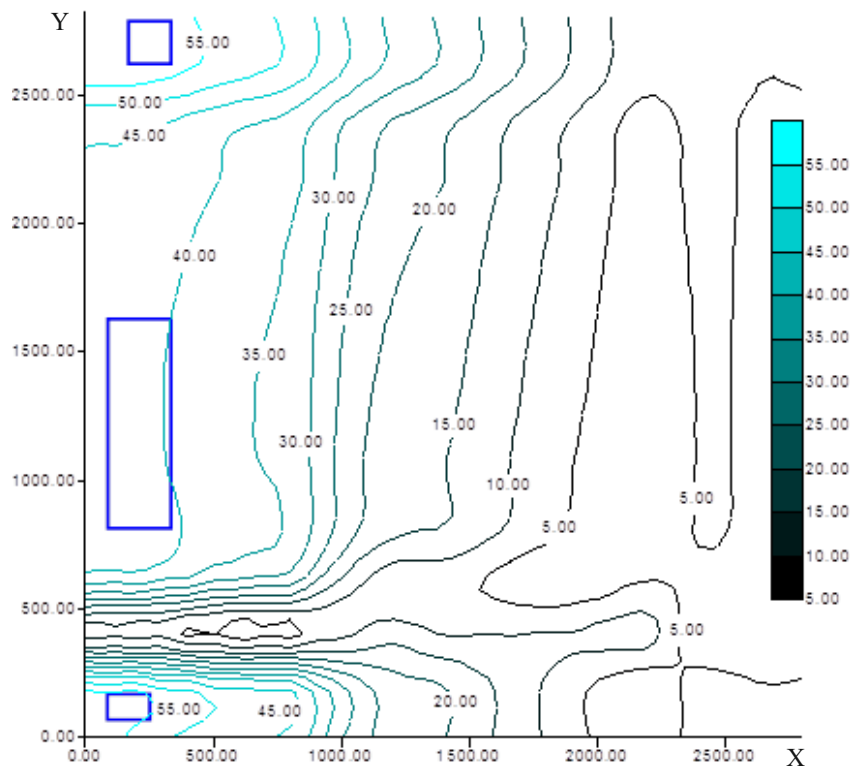


Рис. 1. Линии уровня функции чувствительности для трех охраняемых областей (высота оценки влияния источников примеси $z = 100$, толщина слоя воды $H = 250$, компоненты потока $U = 5$, $V = 3$, размеры сеточной области $(20 \times 20 \times 15)$, $X = 3$ км, $Y = 3$ км)

с использованием метода расщепления. Полученная разностная эволюционная задача сводится к решению систем линейных уравнений методом прогонки. Результатом численной реализации модели, описываемой прямой задачей, являются значения концентрации загрязнителя, рассчитанные с заданной точностью. Численное решение сопряженных задач предполагает согласованность конечно-разностных аппроксимаций прямой и сопряженной задач [1]. При этом структура алгоритмов решения прямой задачи определяет структуру алгоритмов для сопряженной задачи, решаемой с обратным порядком этапов расщепления в обратном направлении по времени.

Построены численные модели переноса однокомпонентных и многокомпонентных примесей, выбрасываемых точечными и площадными источниками с учетом их деградации и взаимодействия с подстилающей поверхностью дна, которые могут быть использованы для решения задач, связанных с оценкой текущего состояния и перспектив региона. Решена также задача построения сечений поля кон-

центраций ЗВ при фиксированном индексе по одной из пространственных переменных, т.е. двумерных сеточных функций, для которых строятся линии уровня и используется цветовая заливка. В основе визуализации численных расчетов лежит алгоритм «квадродеревьев», использованный в [8]. Для реализации построенных моделей разработан программный комплекс, вычислительная часть которого написана на языке FORTRAN.

При исследовании сопряженной задачи расчетная область имеет форму прямоугольного параллелепипеда. Размеры области, пространственное разрешение сетки (по высоте возможен выбор неоднородной сетки), а также шаг по времени выбираются пользователем исходя из имеющихся данных и требований к точности решения. Входными данными для программ служат заданные значения мощности и пространственного расположения сосредоточенных источников загрязнения (для расчета концентраций примеси) или границы охраняемой области (для расчета функции чувствительности), фоновые значения скорости потока на определенных

глубинах (по данным замеров). Программе также необходимы двумерные массивы описания типа подстилающей поверхности дна в узлах расчетной сетки. Охраняемая область задается конечным числом прямоугольных параллелепипедов с вершинами в узлах сетки.

Проведены модельные численные эксперименты. На рис. 1 представлен пример модельного расчета функции чувствительности для трех охраняемых зон.

Представленные модели позволяют прогнозировать распространение примесей на разных глубинах и расстояниях от источников. С помощью реализованных методик можно рассчитывать концентрации и распределения в заданном рекреационном регионе, варьируя мощности выбросов, для различных источников естественного и антропогенного происхождения, предоставляя возможность реально оценить экологическую обстановку. При разработке моделей осаждения загрязняющих веществ конечно-разностные методы могут успешно сочетаться с факторизационными [9–11].

Литература

1. *Марчук Г.И.* Математическое моделирование в проблеме окружающей среды. М.: Наука, 1982. 320 с.
2. *Пененко В.В., Алоян А.Е.* Модели и методы для задач охраны окружающей среды. Новосибирск: Наука, 1985. 245 с.
3. *Алоян А.Е.* Моделирование динамики и кинетики газовых примесей и аэрозолей в атмосфере. М.: Наука, 2008. 415 с.
4. *Павлова А.В., Калайдин В.В.* Об одной модели распространения загрязняющей примеси от площадного источника // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2012. № 2. С.18–22.
5. *Бабешко В.А., Зарецкая М.В., Евдокимова О.В., Павлова А.В., Бабешко О.М., Круглякова О.П., Курилов П.И., Тереножкин А.М., Гендина И.В.* Оценка влияния вулканических и природно-технологических загрязнений на экосистему Азовского моря // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2010. № 9. С. 6–12.
6. *Зарецкая М.В., Бабешко В.А., Ратнер С.В.* Моделирование процесса переноса в водной среде продуктов грязевулканической деятельности // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2008. № 11. С. 27–29.
7. *Шашин В.М.* Гидромеханика. М.: Высшая школа, 1990. 384 с.
8. *Бердник С.В., Павлова А.В.* Моделирование переноса и осаждения загрязняющих веществ с учетом ландшафтных особенностей территории // Экологический вестник научных центров Черноморского Экономического сотрудничества. 2006. Спецвыпуск. С. 62–64.
9. *Бабешко В.А., Бабешко О.М., Евдокимова О.В., Зарецкая М.В., Павлова А.В., Федоренко А.Г.* О дифференциальном методе факторизации в приложениях // Экологический вестник научных центров Черноморского экономического сотрудничества. 2008. № 2. С. 5–12.
10. *Бабешко В.А., Евдокимова О.В., Бабешко О.М., Зарецкая М.В., Павлова А.В., Мухин А.С., Лозовой В.В., Федоренко А.Г.* О приложениях теории блочных структур в науках о земле, сейсмологии, строительстве, материаловедении // Экологический вестник научных центров Черноморского экономического сотрудничества. 2008. № 4. С. 27–34.
11. *Бабешко В.А., Зарецкая М.В., Рядчиков И.В.* К вопросу моделирования процессов переноса в экологии, сейсмологии и их приложения // Экологический вестник научных центров Черноморского экономического сотрудничества. 2008. № 3. С. 20–25.

References

1. *Marchuk, G.I.* *Matematicheskoe modelirovanie v probleme okruzhayushchey sredy* [Mathematical modeling in environmental issues]. Nauka, Moscow, 1982.
2. *Penenko, V.V., Aloyan, A.E.* *Modeli i metody dlya zadach okhrany okruzhayushchey sredy* [Models and methods for environmental issues]. Nauka, Novosibirsk, 1985.
3. *Aloyan, A.E.* *Modelirovanie dinamiki i kinetiki gazovykh primesey i aerorozley v atmosfere* [Modeling the dynamics and kinetics of gas impurities and aerosols in the atmosphere]. Nauka, Moscow, 2008.
4. *Pavlova, A.V., Kalajdin, V.V.* Ob odnoy modeli rasprostraneniya zagryaznyayushchey primesi ot ploshchadnogo istochnika [On one model of the distribution of pollutants from an areal source]. *Zashhita okruzhajushhej sredy v neftegazovom komplekse* [Environmental protection in the oil and gas sector], 2012, no. 2, pp. 18–22.
5. *Babeshko, V.A., Zareckaya, M.V., Evdokimova, O.V., Pavlova, A.V., Babeshko, O.M., Kruglyakova, O.P., Kurilov, P.I., Terenozhkin, A.M., Gendina, I.V.* Otsenka vliyaniya vulkanicheskikh i prirodno-tekhnologicheskikh zagryazneniy na ekosistemu Azovskogo morya [Assessment of the impact of volcanic and natural-technological pollution on the ecosystem of the Azov Sea]. *Zashhita okruzhajushhej sredy v neftegazovom komplekse* [Environmental protection in the oil and gas sector], 2010, no. 9, pp. 6–12.
6. *Zareckaya, M.V., Babeshko, V.A., Ratner, S.V.* Modelirovanie protsessa perenosy v vodnoy

- srede produktov gryazevulkanicheskoy deyatelnosti [Modeling of the process of transferring the products of mud volcanic activity in the aquatic environment]. *Zashhita okruzhajushhej sredy v neftegazovom komplekse* [Environmental protection in the oil and gas sector], 2008, no. 11, pp. 27–29.
7. Shashin, V.M. *Gidromekhanika* [Hydromechanics]. Vysshaya shkola, Moscow, 1990.
 8. Berdnik, S.V., Pavlova, A.V. Modelirovanie perenosa i osazhdeniya zagryaznyayushchikh veshchestv s uchetom landshaftnykh osobnostey territorii [Modeling the transport and deposition of pollutants taking into account the landscape features of the territory]. *Ecological Bulletin of Scientific Centers of the Black Sea Economic Cooperation*, 2006, Spec. Iss., pp. 62–64.
 9. Babeshko, V.A., Babeshko, O.M., Evdokimova, O.V., Zareckaya, M.V., Pavlova, A.V., Fedorenko, A.G. O differentsial'nom metode faktORIZatsii v prilozheniyakh [On the differential method of factorization in applications]. *Ecological Bulletin of Scientific Centers of the Black Sea Economic Cooperation*, 2008, no. 2, pp. 5–12.
 10. Babeshko, V.A., Evdokimova, O.V., Babeshko, O.M., Zareckaya, M.V., Pavlova, A.V., Muhin, A.S., Lozovoj, V.V., Fedorenko, A.G. O prilozheniyakh teorii blochnykh struktur v naukakh o zemle, seysmologii, stroitel'stve, materialovedenii [On applications of the theory of block structures in Earth sciences, seismology, construction, materials science]. *Ecological Bulletin of Scientific Centers of the Black Sea Economic Cooperation*, 2008, no. 4, pp. 27–34.
 11. Vabeshko, V.A., Zareckaya, M.V., Ryadchikov, I.V. K voprosu modelirovaniya protsessov perenosa v ekologii, seysmologii i ikh prilozheniya [On the issue of modeling of transfer processes in ecology, seismology and their applications]. *Ecological bulletin of scientific centers of the Black Sea Economic Cooperation*, 2008, no. 3, pp. 20–25.